Ueber Bewegungsnachbilder

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der

hohen philosophischen Fakultät

der

Universität Bern

von

Dr. ALFRED MILCH.

HEIDELBERG
Druck von C. F. Beisel Nachf.
1910.

Auf Antrag von Herrn Professor Dr. E. Dürr von der philosophischen Fakultät der Universität Bern angenommen.

Bern, den 3. Juni 1910.

Der Dekan:
Prof. Dr. **M. Graf.**

M59u

Meiner Mutter.

Univ. Ex.

1) Die wichtigsten Erscheinungen des Bewegungsnachbildes.

Wenn man Reihen von bewegten Gegenständen längere Zeit betrachtet, so gewinnt man nach dem Aufhören der objektiven Bewegung in der Beobachtung objektiv ruhender Gegenstände nicht selten den Eindruck, als ob dieselben in einer Bewegung begriffen seien, die der vorher wahrgenommenen entgegengesetzt gerichtet ist. Man bezeichnet diese subjektive Bewegungserscheinung als Bewegungsnachbild.

Die bekanntesten Bewegungsnachbilder sind diejenigen, die nach Betrachtung einer rotierenden Spirale, eines Flusses oder Wasserfalls auftreten. Die rotierende Spirale ruft dem Beobachter zunächst das Bild einer sich drehenden Scheibe vor das Bewusstsein. Sehr bald geht jedoch dieser Eindruck in denjenigen einer ganz anders gerichteten Bewegung über. Wird die Spirale im Sinne des Verlaufs ihrer Windungen gedreht, so entsteht der Anschein einer Wellenbewegung nach innen, eines Zusammenschrumpfens konzentrischer Kreise, einer Zentripetalbewegung. Bei entgegengesetzter Drehungsrichtung der Spirale glaubt man konzentrische Kreise in kontinuierlicher Erweiterung als eine Zentrifugalbewegung wahrzunehmen.

Lässt man den ersteren Eindruck eine Zeitlang auf sich wirken, und betrachtet man dann objektiv ruhende Objekte, so scheinen dieselben konzentrisch sich auszudehnen, während sie zusammenzuschrumpfen scheinen, wenn man zunächst die Spirale in Zentrifugalbewegung betrachtet hat.

Das Bewegungsnachbild, das nach der Betrachtung eines Flusses oder Wasserfalls auftritt, und das wir kurz die Uferbewegung nennen wollen, besteht darin, dass das Ufer des Flusses oder die Bäume und Felsen zu beiden Seiten des Wasserfalles in einer dem Gefälle des Wassers entgegengesetzten Richtung sich zu bewegen scheinen.

2. Bisherige Entwicklung der Theorie der Bewegungsnachbilder.

Mannigfache Versuche sind gemacht worden, die merkwürdige Erscheinung der Bewegungsnachbilder zu erklären, ohne dass man bisher zu einem befriedigenden Resultate gekommen wäre.

Der erste Forscher, der über diesen Gegenstand geschrieben hat, Purkinje, war auch schon bemüht, eine Theorie aufzustellen. Er nahm an, dass das Auge dem bewegten Gegenstand, dessen Betrachtung dem Entstehen des Bewegungsnachbildes vorausgehen muss, fixierend folge. Findet ein solches Verfolgen einer gesehenen Bewegung mit dem Blick längere Zeit statt, so tritt eine Gewöhnung ein. Betrachtet das betreffende Auge dann ruhende Gegenstände, so bewegt es sich ohne Wissen und Wollen des Beobachters noch eine Zeitlang in derselben Weise wie vorher beim Verfolgen der gesehenen Bewegung. Die Netzhautbilder der ruhenden Gegenstände gleiten also über die Netzhaut in einer Richtung entgegengesetzt zu der, in welcher die Bilder der primär betrachteten Gegenstände sich auf der Netzhaut verschoben haben, wenn ihre Geschwindigkeit grösser war als die der verfolgenden Blickbewegung.

Diese Theorie, die auch von Helmholtz (ohne Er-

wähnung Purkinje's) vertreten wird, scheint zunächst durchaus befriedigend. Sie erklärt vor allem auch dies, dass die Scheinbewegung nicht nur nach der Betrachtung eines bewegten Gegenstandes, sondern unter Umständen schon während derselben zu beobachten ist. Wenn die Augenbewegungen in der Verfolgung der Wellen eines Flusses oder der Masse eines Wasserfalls unwillkürlich und unbewusst verlaufen, so ist zu erwarten, dass das Ufer des Flusses oder die Bäume und Felsen zu beiden Seiten des Wasserfalls die der Bewegung des Wassers entgegengesetzte Bewegung schon während der Betrachtung des fliessenden oder fallenden Wassers auszuführen scheinen. Da die Bewegungen des Blicks stets hinter der Geschwindigkeit des verfolgten Objekts zurückbleiben, so begreift sich das Phänomen des langsamen Schwebens, das uns in der Uferbewegung entgegentritt.

Dagegen bereitet freilich schon die merkwürdige Stetigkeit der Scheinbewegung in diesen Fällen der Erklärung beträchtliche Schwierigkeiten, und eine Nachbilderscheinung, wie sie im Anschluss an die Betrachtung der gedrehten Spirale auftritt, scheint sich durch unbewusst bleibende Augenbewegungen ganz und gar nicht erklären zu lassen. Bei der Beobachtung der gedrehten Spirale kann doch der Blick nicht gleichzeitig nach allen Richtungen wandern.

Etwas anderes wäre freilich möglich, und wenn die Theorie von Purkinje und Helmholtz auf gar keine weiteren Schwierigkeiten stossen würde, so könnte man sich vielleicht dazu entschliessen, diese Möglichkeit irgendwie für verwirklicht zu halten. Es wäre nämlich denkbar, dass bei Betrachtung der Spirale in Zentrifugalbewegung durch das Fixationsbedürfnis der vom Zentrum ausstrahlenden bewegten Dinge eine gewisse Dehnung der Netzhaut herbeigeführt würde. Dass eine

solche Dehnung z. B. durch den Ciliarmuskel herbeigeführt werden könne, ist unabhängig von dem Bedürfnis nach einer Hypothese zur Erklärung des Nachbildes der Spiralenbewegung behauptet worden.

Wenn man nun annehmen würde, dass der Apparat, der die Dehnung besorgt, in rhythmische Tätigkeit versetzt, auch nach dem Aufhören der Betrachtung der bewegten Spirale noch eine Zeitlang fortarbeite, so wäre auf Grund dieser Annahme zu erwarten, dass der rhythmischen Dehnung der Netzhaut entsprechend das Bild ruhender Gegenstände rhythmisch zusammenzuschrumpfen scheine. Das Bewegungsnachbild nach Betrachtung der in Zentrifugalbewegung befindlichen Spirale wäre also erklärt.

In ähnlicher Weise könnte man bei Betrachtung der Zentripetalbewegung eine Kontraktion der Netzhaut annehmen, deren rhythmische Fortsetzung nach dem Aufhören der Primärbeobachtung eine rhythmische Erweiterung der Bilder ruhender Dinge zur Folge haben müsste.

Alle diese Erklärungsversuche aber werden unmöglich durch die bereits von Oppel gemachte Beobachtung, dass die Erscheinung sich nur auf jenen Teil des Gesichtsfeldes erstreckt, welcher der vorher durch die objektive Bewegung gereizten Netzhautpartie entspricht.

Ausserdem wird die Unmöglichkeit der genannten Theorien glänzend dargetan durch den Versuch Dvoraks, den A. v. Scily folgendermassen beschreibt:[1] „Die rotierende Scheibe ist in 3 gleich breite Zonen geteilt, von denen die äusserste und die innerste die Teile einer gleichlaufenden, die mittlere den Anteil einer gegenläufigen Spirale enthalten. Je nach der Drehung

[1] A. v. Scily „Bewegungsnachbild und Bewegungskontrast", Zeitschrift für Psychologie 38. Bd. (1905) S. 83.

der Scheibe ergeben sich zwei diametral entgegengesetzte Bewegungseindrücke: entweder ein zentripetaler zwischen zwei zentrifugalen, oder ein zentrifugaler zwischen zwei zentripetalen. Dementsprechend sieht man auch im Bewegungsnachbilde entweder eine sich ausdehnende Zone zwischen zwei schrumpfenden oder eine schrumpfende zwischen zwei sich ausdehnenden, wobei die betrachtete Fläche sich wellenartig zu krümmen scheint." „Eine weitere Anordnung des Dvorak'schen Experimentes besteht darin, dass die Scheibe hinter aufgespannten, schwarzen Fäden gedreht wird, wodurch man sich während der Rotation von der unausgesetzten Fixation des Zentrums überzeugen kann, indem jede Blickbewegung sich sofort durch die hellen Nachbilder der Fäden verrät, und wodurch ferner in dem darauf folgenden Bewegungsnachbilde sich die nicht zu unterschätzende Tatsache ergibt, dass die Scheinbewegung zwischen den feststehenden Nachbildern der Fäden abläuft. „Dvorak" war auch der erste, der die Beobachtung machte, dass bei monokularem Empfang des Bewegungseindruckes die entsprechende Nachbewegung von dem anderen Auge für sich ebenfalls gesehen wird." [1])

Wie es scheint, ohne die entscheidenden Versuche Dvoraks zu kennen, polemisiert gegen die von Purkinje und Helmholtz aufgestellte Theorie J. I. Hoppe in seiner Schrift die „Scheinbewegungen" [2]). Er will anstelle dieser Theorie die von ihm sogenannte „Abprägungstheorie" setzen. Trotz seiner mehr als ausführlichen Darlegungen ist indessen recht schwer einzusehen, was er mit dieser Lehre eigentlich meint. Sicher ist, dass er auch unwillkürliche Augenbewegungen für die Entstehung des Bewegungsnachbildes verantwortlich macht. Dabei nimmt er jedoch nicht an, dass diese Bewegungen in der

[1]) A. v. Seily a. a. O. S. 84 f.

[2]) J. I. Hoppe „Die Scheinbewegungen". Würzburg, 1879.

Richtung der Bewegung des primär betrachteten Gegenstandes (des Flusses, des Wasserfalles usw.) stattfinden, vielmehr sollen sie derselben entgegengesetzt gerichtet sein. Der Schein der dem Flusslauf entgegengesetzten Uferbewegung kann bei einer solchen Augenbewegung offenbar nur dadurch entstehen, dass mit dem bewegten Auge das Nachbild des gesehenen Gegenstandes (das auf derselben Netzhautstelle abgeprägt bleibt) wandert. Diese Annahme scheint Hoppe in der Tat zu machen.[1])

Nun wird bei der Hoppe'schen Theorie zunächst nicht begreiflich, warum die Reize, die doch während des Bewegungsnachbildes noch wirksam sind, keine neuen Abprägungen hervorrufen, deren Verschiebung bei der von Hoppe angenommenen Augenbewegung den Anschein einer Bewegung hervorbringen müsste, die der zu beobachtenden gerade entgegengesetzt wäre. Ausserdem scheint die Heranziehung von Augenbewegungen überhaupt zur Erklärung der Bewegungsnachbilder durch die Versuche Dvoraks vollständig ausgeschlossen zu sein.

Eine weitere Theorie zur Erklärung der Bewegungsnachbilder ist die zuerst von Joh. Müller aufgestellte Lehre vom Abklingen der Netzhautreizung als der Ursache der betreffenden Phänomene. Wenn Lichteindrücke auf die Netzhaut einwirken, so überdauern die Erregungen die Reizzeiten. Wenn nun die verschiedenen Stellen der Netzhaut sukzessiv von einem darüber hinbewegten Lichtstrahl gereizt werden, so kehren nach dem Aufhören der Reizung die gereizten Stellen ebenfalls sukzessiv in den Ruhezustand zurück. Es pflanzt sich also ein Prozess über die Netzhaut fort, entgegengesetzt dem, der sich bei der sukzessiven Reizung der einzelnen Netzhautstellen darüber hin vollzogen hat. Soweit ist alles vollkommen klar. Nun wird man jedoch auf Grund

[1]) A. a. O. S. 129 f und an vielen anderen Stellen.

des Gesagten erwarten, dass nach der Bewegung etwa eines weissen Objektes die gleichgerichtete Bewegung eines Schattens wahrgenommen werde. Warum man statt dessen die entgegengesetzt gerichtete Bewegung eines objektiv ruhenden Objekts wahrzunehmen glaubt, ist durch den Hinweis auf die Sukzession des Abklingens der Lichtempfindungen noch keineswegs erklärt. Es tritt auch kein Bewegungsnachbild auf, wenn ein Gegenstand, z. B. ein weisses Stück Papier, nur einmal vor dem Auge vorbeigeführt wird, obwohl das Abklingen der Erregungen in diesem Falle natürlich ganz in der von Joh. Müller angenommenen Sukzession stattfindet. Es muss offenbar jede von den nacheinander in gleicher Weise gereizten Netzhautstellen eine Zeit lang intermittierend gereizt werden, damit der oszillierende Vorgang entsteht, dem das Bewegungsnachbild seine Entstehung verdankt.

Die Theorie Joh. Müllers ist endlich schwer vereinbar mit der Tatsache, dass nach Betrachtung eines bewegten Gegenstandes (wie Spirale, Strahlenscheibe usw.) mit einem Auge das andere Auge für sich das Bewegungsnachbild wahrnehmen kann.

Eine weitere Theorie der Bewegungsnachbilder kann als die Theorie der Urteilstäuschung bezeichnet werden. Zu einer solchen neigt in gewissem Sinne von den bisher genannten Autoren J. I. Hoppe, dessen Theorie von der Denktätigkeit leider ebenso wie seine Lehre von den Muskelschwingungen des Auges und von den Abprägungsbewegungen an schweren Unklarheiten leidet. Psychologisch kompetenter sind andere Vertreter der Theorie der Urteilstäuschung wie Zöllner und Budde, von denen wir wenigstens die Auffassung des ersteren nach dem Exzerpt A. v. Scily's hier kurz wiedergeben wollen.

Zöllner sieht in dem Bewegungsnachbild „eine

pseudoskopische Erscheinung, bei welcher das Urteil des Beobachters inbezug auf Ruhe und Bewegung eine rein psychologische Fälschung erfährt, ganz so wie bei dem Streifenmuster (der Zöllner'schen Täuschung) inbezug auf räumliche Dimensionen". Haben wir eine gleichmässige Bewegung eine Zeit lang betrachtet, so erwarten wir die Fortdauer auch für den nächsten Moment mit desto grösserer Gewissheit, je öfter unserer Erwartung entsprochen worden ist, d. h. je länger diese Bewegung gedauert hat. Tritt der bewegte Gegenstand plötzlich in den Zustand der Ruhe, so gelangt diese Erscheinung zwar sogleich durch die veränderte Erregung unserer Netzhaut zu unserem Bewusstsein, aber wir nehmen diese Veränderung zunächst nur als veränderten Bewegungszustand wahr, da zur Erzeugung der Vorstellung von Ruhe unsere Reflexion erst eine Zeit lang tätig gewesen sein muss. Zwei Fälle sind als möglich anzunehmen, entweder der Körper bewegt sich in der ursprünglichen Richtung weiter oder nach der entgegengesetzten. Nun hängt es von der Begünstigung ab, welche die Bildung der einen oder der anderen Vorstellung von seiten der Erscheinung erfährt. Eine solche Begünstigung erfährt hier die Vorstellung von der Bewegung in der entgegengesetzten Richtung; denn wenn ein gleichmässig bewegter Gegenstand in die entgegengesetzte Richtung übergeht, dann muss er notwendig die Ruhelage passieren."

Derartige Erklärungen psychischer Phänomene durch die Annahme logischer Prozesse haben nun schon deshalb etwas durchaus Unbefriedigendes, weil die logischen Prozesse selbst der psychologischen Erklärung bedürfen. Die Urteile selbst setzten sich zusammen aus Reproduktions- und Produktionsprozessen. Es hat also gar keinen Wert, ein Urteil als etwas letztes, nicht weiter zurückführbares zur kausalen Erklärung einer Erscheinung herauszuziehen.

Man kann gewiss nicht viel dagegen einwenden, wenn Psychologen, die alle Wahrnehmung als Urteil bezeichnen, wie z. B. Höfler und andere Anhänger Meinongs, die Wahrnehmung des Bewegungsnachbildes ein falsches Urteil, eine Urteilstäuschung nennen, während diejenigen Psychologen, die das Urteil als eine nicht sinnlich begründete Objektivitätsfunktion den sinnlich begründeten Objektivitätsfunktionen in der Wahrnehmung gegenüberstellen, gerade den sinnfälligen Eindruck des Bewegungsnachbildes gegenüber der Abstraktion eines Urteils über Bewegung betonen. Aber mag man sich der einen oder anderen Terminologie bedienen, stets gilt es, die Erscheinungen nicht nur zu benennen, sondern zu erklären. Eine Erklärung liegt jedoch ganz gewiss nicht in der Annahme einer Trägheit der Urteilsfunktion, die sonst nirgends zu beobachten ist. Wir können ruhende Körper noch so lange betrachten und werden stets sogleich imstande sein, ein Urteil über Bewegungen zu fällen, wenn die Veranlassung zu einem solchen an uns herantritt.

Die Zöllner'sche Erklärung scheitert auch daran, dass das Bewegungsnachbild nur in ganz bestimmten Teilen des Sehfeldes zu beobachten ist, nämlich nur in denen, die der vorher durch den bewegten Gegenstand gereizten Netzhautregionen entsprechen.

Kurz, die Theorie der Urteilstäuschung erscheint in jeder Hinsicht als unbrauchbar. So bleibt von den in der bisherigen Litteratur über diesen Gegenstand vertretenen Theorien nur noch eine zu diskutieren, nach der dem Bewegungsnachbild insofern eine ganz analoge Bedeutung zukommen soll wie dem Farbennachbild, als die Bewegungsempfindung von den betreffenden Autoren für eine ebenso elementare Empfindung gehalten wird wie die Farbenempfindung. Unter den Vertretern dieser Auffassung ist besonders Exner zu nennen. Ihnen schliesst sich auch der Verfasser der mehrfach zitierten

Abhandlung über „Bewegungsnachbild und Bewegungskontrast“ A. v. Scily an.

Man wird indessen kaum behaupten können, dass diese Theorie haltbarer sei als die vorauserwähnten. Dieselben Gründe, die sich vom Standpunkte der Deskriptionspsychologie gegen den Begriff der Raumempfindung oder der Zeitempfindung ins Feld führen lassen, müssen auch gegenüber der Bildung des Begriffs „Bewegungsempfindung“ betont werden. Wenn wir daran festhalten, dass alles, was der Psycholog mit dem Wort Empfindung bezeichnet, ein peripher erregbares, keinerlei psychischer Fundierung bedürftiges psychisches Geschehen sei, an dem sich stets Intensität und Qualität unterscheiden lässt, dann dürfen wir nicht von Bewegungsempfindungen sprechen. Es mag dem Bewusstsein der Bewegung ein Prozess in der Grosshirnrinde entsprechen, der nicht in einer Erregungsausbreitung über nebeneinander gelegene Partieen dieses Organs besteht. Das Bewusstsein einer Sukzession, wie es im Bewegungsbewusstsein unter Umständen deutlich hervortritt, braucht nicht in einer Sukzession von Bewusstseinsinhalten zu bestehen. Aber es muss durch eine solche Sukzession fundiert sein. Eine Sukzession von Empfindungen mit kontinuierlich oder sprungweise verschiedenen Lokalzeichen stellt in der Regel das dar, was wir als Produktionsmotiv des Bewegungsbewusstseins bezeichnen. Die Verwechslung des Bewegungsbewusstseins (in der Bewegungswahrnehmung) mit Sinnesempfindungen wird unserer Auffassung nach eben dadurch nahegelegt, dass in der Bewegungswahrnehmung neben dem Bewegungsbewusstein stets Sinnesempfindungen vorhanden sind. Ein Bewegungsbewusstsein ohne den sinnlichen Eindruck von etwas, was sich bewegt, wird gewiss nicht zu einer Verwechslung mit Sinnesempfindungen Veranlassung geben. Wenn wir also das

Bewegungsbewusstsein für etwas anderes als für eine Empfindung erklären, so heisst dies hauptsächlich, dass wir eine Bewegungswahrnehmung ohne das Erfassen einer (optischen oder sonstigen) Qualität des Bewegten, und wäre es auch nur das Erfassen eines Schattens oder eines Hauses, für unmöglich halten. Das Bewegungsbewusstsein in der Bewegungswahrnehmung tritt nicht ohne Produktionsmotiv auf, und es unterscheidet sich eben dadurch von den peripher erregbaren Empfindungen, die ohne psychische Voraussetzung in unserem Seelenleben hervortreten. Im übrigen ist es auch unmöglich, am Bewegungsbewusstsein so wie an den Empfindungen, Intensität und Qualität zu unterscheiden. Nun könnte man sagen, Zugegeben: Das Bewegungsbewusstsein ist keine Empfindung. Es wird ursprünglich hervorgerufen durch eine bestimmte Sukzession von Empfindungen, denen es nicht etwa deutlich hinterhergeht, sondern mit denen es in innigster Verschmelzung gegeben ist, die aber doch die Bedingungen seines Entstehens darstellen. Aber kann es, wenn es einmal hervorgerufen ist, nicht fortdauern trotz des Verschwindens der ursprünglichen Produktionsmotive? Kann das Bewusstsein der Bewegung, wenn es einmal erregt ist, sich nicht verbinden mit den Empfindungen, die von objektiv ruhenden Reizen ausgelöst werden, so dass die Bewegungswahrnehmung, die sich aus Sinnesempfindungen und dem Bewusstsein der Bewegung zusammensetzt, nach wie vorher vorhanden ist?

Auf diese Frage ist zu antworten: Ein derartiger Mechanismus wäre freilich denkbar, wenn auch das, was wir sonst von den Gesetzen des psychischen Geschehens wissen, seine Annahme nicht gerade sehr wahrscheinlich macht. Aber wir würden gar nichts gewinnen, wenn wir uns zu dieser Hypothese entschliessen wollten. Denn das fortdauernde Bewegungsbewusstsein

müsste doch das Bewusstsein der gleichgerichteten Bewegung sein. Wie der Schein der entgegengesetzt gerichteten Bewegung im Bewegungsnachbild entsteht, bleibt vollkommen unerklärt.

Wer von Bewegungsempfindungen spricht, kann daran denken, Bewegungsnachbild und Bewegungskontrast im Sinn des negativen Farbennachbildes und des Farbenkontrastes zu erklären, obwohl eine Theorie wie die Hering'sche von den antagonistischen Prozessen in der Sehsinnsubstanz sich schwer auf die „Bewegungssinnsubstanz" übertragen lassen dürfte. Gibt man aber, was nach dem oben Gesagten nicht zu umgehen ist, die Gleichsetzung des Bewegungsbewusstseins mit den Sinnesempfindungen auf, dann ist mit der Analogie des negativen Farbennachbildes und des Farbenkontrastes gar nichts mehr anzufangen; denn von antagonistischen Prozessen im Zentralorgan und von Kontrastwirkungen zentral nervöser Prozesse, wodurch zentral bedingte Bewusstseinsvorgänge in das Bewusstsein des Gegenteils von dem in ihnen Erfassten umschlügen oder das Bewusstsein des Gegenteils von dem in ihnen Erfassten wachriefen, weiss der Psychologe im allgemeinen nichts.

Damit lehnen wir alle Versuche ab, die gemacht worden sind oder gemacht werden könnten, das Bewegungsnachbild im Sinne einer Komplementärempfindung zu erklären.

Aber sollen wir dann auf eine Erklärung des merkwürdigen Phänomens der Bewegungsnachbilder verzichten? Oder ist es möglich, eine der erwähnten Theorien so zu modifizieren, dass sie unseren Anforderungen gerecht wird? Oder lässt sich vielleicht die Erklärung auf einem Wege finden, der bisher nicht eingeschlagen worden ist? Das Letztere erscheint nach den zahlreichen Versuchen, die bisher schon von den verschiedensten Forschern in den verschiedensten Rich-

tungen unternommen worden sind, so gut wie ausgeschlossen. Zu einem endgültigen Verzicht auf jede Erklärung wird man sich auch nicht entschliessen wollen. So bleibt also nur übrig, die zweite Möglichkeit auszuprobieren.

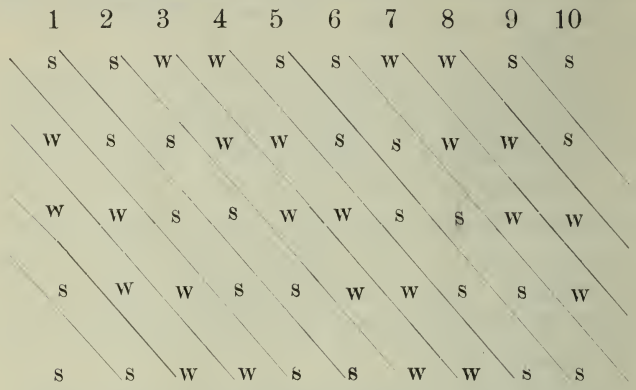
Wenn wir die verschiedenen Theorien überblicken, so scheint diejenige der Augenbewegungen und diejenige der Urteilstäuschung am gründlichsten widerlegt zu sein. Ganz unannehmbar ist für uns auch die Lehre von der Analogie der Bewegungsnachbilder mit Farbennachbildern. Es bleibt daher nur die Auffassung Joh. Müllers übrig, die vielleicht einer Weiterentwicklung fähig ist, bei welcher sie die gegenwärtig noch bestehenden Schwierigkeiten überwindet.

Suchen wir zunächst einmal uns die Prozesse zu verdeutlichen, die dem Entstehen des Bewegungsnachbildes in der Sehsinnsubstanz vorausgehen müssen.

Wir nehmen an, dass schwarze und weisse Streifen am Auge vorbeibewegt werden, oder dass durch Bewegung des Auges sich ihre Bilder über die Netzhaut verschieben. Statt des Streifens können es natürlich auch beliebige andere reihenförmig angeordnete Gegenstände sein und statt eines blossen Helligkeitswechsels kann auch ein Farbenwechsel stattfinden.

Wir bezeichnen eine Reihe nebeneinanderliegender Netzhautelemente oder die ihnen zugeordneten Elemente in tieferen Regionen der Sehsinnsubstanz mit den Zahlen 1—10. Die Schwarzreizung deuten wir an durch den Buchstaben s. Die Weissreizung durch den Buchstaben w, und um anzudeuten, dass diese Reizung sich über eine gewisse Raumstrecke ausdehnt, setzen wir s und w je zweimal nebeneinander unter die Bezeichnung der Netzhautelemente und zwar zunächst unter 1 und 2, 5 und 6, 9 und 10. Die Verschiebung in aufeinander-

folgenden Zeitabschnitten bringen wir in den untereinanderstehenden Horizontalseiten zur Darstellung. So gewinnen wir folgendes Schema:



Wie man aus diesem Schema sieht, werden bei dieser Art der Bewegung die Sehsinnelemente in der Aufeinanderfolge 1 — 10 in aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten gleichmässig gereizt. Dagegen findet in der Richtung 10,9,8,7 — 1 für nebeneinanderliegende Elemente in aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten entgegengesetzte Reizung statt. Es verschiebt sich also bei dieser Art der Bewegung der Prozess der Weissreizung und der Prozess der Schwarzerregung kontinuierlich über die Elemente in der Richtung 1—10 und durch diese Verschiebung wird offenbar die Wahrnehmung der Bewegung in einer ganz bestimmten Richtung bedingt. Würde das Bild der schwarz-weissen Streifen in umgekehrter Richtung über die Netzhaut wandern, dann würde die kontinuierliche Verschiebung des gleichen Reizungsprozesses über die Elemente in der Richtung von 10—1 stattfinden, wodurch die Wahrnehmung der Bewegung in umgekehrter Richtung bedingt wäre.

Würden die schwarzen und weissen Streifen so

schmal gewählt, dass wir nicht nötig hätten, die räumliche Ausdehnung in unserem Schema zu repräsentieren, so würde sich folgendes Bild ergeben:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
s	w	s	w	s	w	s	w	s	w
w	s	w	s	w	s	w	s	w	s
s	w	s	w	s	w	s	w	s	w
w	s	w	s	w	s	w	s	w	s

Wie man aus diesem Schema sieht, findet die kontinuierliche Verschiebung des gleichen Reizungsprozesses bei einer und derselben Richtung der Verschiebung der Streifenbilder über die Netzhaut sowohl in der Richtung 1—10 wie in der umgekehrten Richtung statt. Wir haben infolgedessen einen Bewegungseindruck, ohne die Richtung der Bewegung deutlich zu erkennen. Wir sehen eine Bewegung, die wir sowohl als Bewegung in dieser, wie als Bewegung in entgegengesetzter Richtung erfassen können. Dass dies in der Tat bei der Betrachtung sehr schmaler, sich verschiebender Streifen der Fall ist, ist bekannt.

Doch kehren wir zu unserem ersten Schema zurück! Aus diesem ersehen wir auch, was in jedem einzelnen Sinneselement in aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten geschieht. Wir sehen, dass jedes Element sukzessiv und intermittierend der Weiss- und Schwarzerregung unterliegt. Wenn nun in einem bestimmten Zeitpunkt die Reizung abgebrochen wird, so ist bei einzelnen Elementen gerade eine Periode der Weisserregung oder der Schwarzerregung zu Ende. Es wird also infolge der Trägheit der Sehsinnsubstanz bei diesen Elementen im nächsten Augenblick der entgegengesetzte Prozess entsprechend dem Rhythmus, an den sie sich gewöhnt haben, einsetzen. In unserem Schema sind dies die Elemente 1, 3, 5, 7, 9. Die dazwischenliegenden Elemente sind beim Abbrechen der Reizung nicht am Ende einer

Erregungsperiode angelangt. Sie sollten zur Fortführung des Rhythmus, an den sie gewöhnt worden sind, im nächsten Augenblick noch gesteigert werden in dem Erregungszustand, in den sie zuletzt nur unvollkommen versetzt worden sind. Diese Steigerung unterbleibt jedoch. Ihr Erregungszustand liegt demgemäss zwischen der Schwarzerregung und der Weisserregung. Die ihnen entsprechende Empfindung ist die eines mittleren Grau. Nehmen wir nun an, dass die Elemente, die in ihrem Rhythmus nicht gestört worden sind, noch eine Zeit lang in dem gewohnten Tempo von dem einen Zustand in den entgegengesetzten Zustand übergehen, so müssen wir bedenken, dass der Uebergang beim Aufhören der objektiven Reizung nicht durch eine gesteigerte Weiss- oder Schwarzerregung, sondern durch eine Herabsetzung derselben, also durch eine Grauerregung hindurchgeht. Wir gewinnen also, wenn wir die Grauerregung mit g bezeichnen, folgendes Schema:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
w	g	s	g	w	g	s	g	w	g
g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
s	g	w	g	s	g	w	g	s	g
g	g	g	g	g	g	g	g	g	g

Wir sehen aus diesem Schema erstens, dass der gleiche Reizungsprozess der Graureizung sich kontinuierlich über die Elemente in der Richtung 10—1 verschiebt, zweitens, dass der Prozess der Weisserregung sich zwar sprungweise, aber nicht durch den Prozess der Schwarzerregung, sondern durch den mittleren Zustand der Grauerregung unterbrochen ebensowohl in der Richtung 10—1 wie in der entgegengesetzten über die Elemente verschiebt, und dass das Gleiche für den Prozess der Schwarzerregung gilt. Ob wir nun annehmen, dass die Wahrnehmung des Bewegungsnachbildes durch die kontinuierliche Verschiebung des Grauprozesses oder durch die sprungweise

Verschiebung des Schwarz- und des Weissprozesses bedingt sei, das ist zunächst ganz gleichgültig.

Unter beiden Voraussetzungen ist die Wahrnehmung einer Bewegung in der Richtung, in der die primäre Bewegung wahrgenommen worden ist, vor der Wahrnehmung einer Bewegung in der entgegengesetzten Richtung gewiss nicht begünstigt. Dagegen ist die Wahrnehmung der Bewegung in der entgegengesetzten Richtung unter allen Umständen dadurch begünstigt, dass die Aufmerksamkeit in der Richtung der primären Bewegung gewandert ist, dass also der Ausgangspunkt der sekundären Bewegungswahrnehmung das Ziel der primären Bewegung bildet.

Dass diese Theorie die Erscheinung des Bewegungsnachbildes zu erklären imstande ist, wird man kaum bestreiten. Dass sie mit unwahrscheinlichen Annahmen operiert, kann man auch nicht behaupten. Es fragt sich nur, ob sie, abgesehen von ihrem Erklärungswert, irgend welcher Verifizierung fähig ist.

Da müssen wir zunächst auf eine Konsequenz hinweisen, die sich aus ihr ergibt und die experimenteller Nachprüfung leicht zugänglich ist. Es muss nämlich, wenn das primär bewegte Objekt ein farbiges war und wenn das Bewegungsnachbild an einem farblosen Objekt beobachtet wird, eine gewisse Farbigkeit desselben, genauer eine Farbenbewegung zu beobachten sein.

Die bewegte Farbe darf nichts vom negativen Nachbild an sich haben; denn bei unserer Annahme einer Fortdauer des primären Helligkeits- oder Farbenwechsels ist das Auftreten eines negativen Nachbildes, das überdies ganz andere Entstehungsbedingungen und einen ganz anderen Verlauf hat, ausgeschlossen.

Ueber die genauere Region der Sehsinnsubstanz, in der das Fortschwingen der Erregungszustände in dem aufgezwungenen Rhythmus noch eine Zeit lang statt-

findet, haben wir uns jeder Annahme enthalten. Da wir nicht mit dem Auftreten negativer Nachbilder rechnen, ist die Verlegung des Prozesses in zentrale Regionen durchaus nicht ausgeschlossen und wenn es richtig ist, dass nach Beobachtung einer Bewegung mit dem einen Auge das andere Auge das Bewegungsnachbild wahrnehmen kann, so müssen wir diese Verlegung in zentrale Regionen tatsächlich vornehmen.

Um über diese und einige andere für die Theorie bedeutsame Punkte Klarheit zu gewinnen, haben wir eine Reihe von Experimenten angestellt zur Beantwortung folgender Fragen:

1. Ist das Bewegungsnachbild bei monokularer Betrachtung der Spirale mit dem anderen Auge zu sehen?
2. Treten nach Betrachtung einer farbigen Spirale bei Fixation eines farblosen Objektes Farbenerscheinungen auf?
3. Welche sekundär betrachteten Gegenstände, farbige oder farblose, stark oder schwach konturierte, hell oder dunkel beleuchtete, sind am meisten geeignet, das Bewegungsnachbild hervorzurufen?
4. Worin besteht die Bewegung im Bewegungsnachbild, in einer Ortsveränderung einzelner Teile des Gesehenen gegenüber anderen Teilen oder in einer Verschiebung des ganzen Gesichtsfeldes oder in einer Form-Helligkeits-Klarheitsänderung der Bestandteile oder worin sonst?
5. Lassen sich Unterschiede (abgesehen von der Richtung der Bewegung im Bewegungsnachbilde) feststellen zwischen dem Bewegungsnachbild nach Betrachtung der Spirale und des künstlichen Wasserfalls?
6. Gibt es Unterschiede der Geschwindigkeit der

Bewegung im Bewegungsnachbilde, wodurch werden sie hervorgebracht und worin lassen sie sich erkennen?

7. Welche Unterschiede lassen sich im Verhalten der verschiedenen Individuen bei Betrachten der primären Bewegung und bei Erwartung der Nachbildererscheinungen konstatieren, mit denen es zusammenhängen könnte, dass der eine das Nachbild leichter, besser oder länger sieht als der andere?
8. Kann man bei geschlossenen Augen Bewegungsnachbilder erhalten und worin bestehen sie?

Unsere Beobachtungen wurden angestellt an rotierenden Spiralen und an vertikal um zwei Rollen sich bewegenden Papierstreifen mit parallelen, horizontal gerichteten Linien.

Die Spiralscheiben hatten einen Durchmesser von 30 cm und 5 Windungen von $1^1/_2$ cm Breite. Sie wurden in der Weise hergestellt, dass die Spirale aus schwarzem oder farbigem Papier ausgeschnitten und auf Kreisscheiben aus weissem oder farbigem Karton aufgeklebt wurde. Gearbeitet wurde mit einer schwarzen Spirale auf weissem Grund, (die im folgenden der Kürze halber immer als Schwarzweiss-Scheibe bezeichnet werden soll), mit einer roten Spirale auf weissem Grund (Rotweiss-Scheibe), mit einer grünen Spirale auf weissem Grund (Grünweiss-(Scheibe), mit einer blauen Spirale auf weissem Grund (Blauweiss-Scheibe), mit einer gelben Spirale auf weissem Grund (Gelbweiss-Scheibe), mit einer roten Spirale auf grünem Grund (Rotgrün-Scheibe) und mit einer blauen Spirale auf gelbem Grund (Blaugelbscheibe).

Der Apparat zur Darstellung der Wasserfallbewegung bestand aus zwei 80 cm breiten eisernen Walzen von 10 cm Durchmesser, von denen die obere mit einer

Achse in einem Lager drehbar war, sodass sie durch einen Elektromotor in Rotation versetzt werden konnte, während die untere frei in einer breiten Transmission aus starkem Leinenstoff hing, sodass sie die Drehung der oberen mitmachte. Mit der Leinwandtransmission lief die jeweils um sie gelegte, der Breite der Walzen in ihrer Breite angepasste Papierschleife mit horizontalen schwarzen Strichen von 1 cm Breite in je 3 cm Abstand auf weissem Grund. Einige Beobachtungen wurden auch mit Schleifen angestellt, die blaue, und mit solchen, die rote Striche auf weissem Grund aufzuweisen hatten.

Als Beobachter fungierten die Herren Professor Dürr, cand. phil. Fialkoff, cand. phil. Joglis, Sekundarlehrer Rothen, Frau cand. phil. Alexandroff, Fräulein Grüter, Lehrerin an der Sekundarschule, und ich selbst. Im folgenden sollen die Beobachter in der Reihenfolge, in der sie hier aufgeführt sind, mit Ziffern bezeichnet werden.

Die Beobachtungen wurden meist in den Nachmittagsstunden angestellt und zwar die mit den Spiralscheiben in einem nach Westen gelegenen, um diese Zeit meist sonnigen und hellen Zimmer des psychologischen Instituts, die mit dem die Wasserfallbewegung darstellenden Apparat in einem noch unausgebauten Raum im Dachstock der Universität, wo die Helligkeit eine viel geringere war.

An den sich drehenden Spiralscheiben sahen alle Beobachter die bekannte Wellenbewegung nach aussen oder nach innen verlaufend, je nach der Richtung der Rotation. An den Spiralscheiben mit weissem Grund schien das Bewegte meist die schwarze oder farbige Spirale zu sein, doch glaubten einige Beobachter, besonders ich selbst, öfters auch die Bewegung einer weissen Spirale auf schwarzem oder farbigem Grund zu sehen. Oefter trat der Wechsel dessen, was als ruhender Grund

und als darüber hinlaufende Welle aufgefasst wurde, bei der Rotgrün- und der Blaugelb-Scheibe hervor.

Das Bewegungsnachbild wurde von allen Versuchspersonen, mit Ausnahme von Vp. 1 und Vp. 2, beobachtet. Diesen beiden Beobachtern aber gelang es trotz zahlreicher, in der mannigfachsten Weise variierter Versuche nicht, ein eigentliches Bewegungsnachbild wahrzunehmen. Sie beobachteten höchstens zuweilen unmittelbar nachdem die rotierende Spiralscheibe angehalten worden ist, auf ihr einen Ruck der Kontraktion oder Expansion, wenn die Primärbewegung eine solche nach aussen oder innen war, während die anderen Versuchspersonen geradezu überrascht sind über die lange Dauer des Bewegungsnachbildes. Vp. 1 bringt ihre Unfähigkeit zur Wahrnehmung von Bewegungsnachbildern in Zusammenhang mit seiner in stundenlangen vergeblichen Versuchen, das oszillierende Abklingen kurzdauernder Lichterregungen im Dunkeln zu beobachten, erprobten Unfähigkeit zur Wahrnehmung positiver Nachbilder von optischen Eindrücken. Aber eine tiefer eindringende Untersuchung des möglicherweise hier bestehenden Zusammenhangs mussten wir uns angesichts der Schwierigkeit der Beobachtung positiver Nachbilder und der Ungeübtheit der meisten unserer Versuchspersonen in Feststellung subjektiver optischer Phänomene leider versagen. Auch sonst ergab sich aus unseren Versuchen nichts Befriedigendes zur Beantwortung der siebenten der oben aufgeworfenen Fragen, der Frage nach dem Grund der Verschiedenheit des Hervortretens der Bewegungsnachbilder für die verschiedenen Versuchspersonen.

Was die Beantwortung der übrigen Fragen anlangt, so gestaltet sie sich leider nicht durchweg einheitlich auf Grund der Aussagen der einzelnen Beobachter.

Gleich die erste Frage, ob nach monokularer Betrachtung der Primärbewegung das vorher geschlossene

Auge ein Bewegungsnachbild wahrzunehmen vermöge, wird von einem Teil der Beobachter, die überhaupt Bewegungsnachbilder haben, positiv, von einem andern Teil negativ beantwortet. Ich selbst konnte stets mit dem linken sowohl wie mit dem rechten Auge ein Bewegungsnachbild sehen, wenn ich vorher unter lichtdichtem Verschluss des betreffenden Auges mit dem andern Auge eine Primärbewegung längere Zeit angeschaut hatte. Doch war das Bewegungsnachbild in diesen Fällen weniger deutlich, als wenn es mit dem durch die Primärbewegung gereizten Auge gesehen wurde. Wenn man bedenkt, dass die Wahrnehmung einer subjektiven Erscheinung durch einige Beobachter im allgemeinen mehr für die Tatsächlichkeit derselben beweist als die Unfähigkeit, sie wahrzunehmen, bei anderen Beobachtern gegen sie Zeugnis abzulegen vermag, so darf die Feststellung früherer Experimentatoren auf diesem Gebiet, dass nach monokularer Beobachtung der Primärbewegung das vorher geschlossene Auge ein Bewegungsnachbild wahrnehmen könne, wohl als durch unsere Versuche bestätigt gelten.

Es fragt sich nur, ob in den Fällen, wo das Bewegungsnachbild monokular unter Verschluss des vorher durch die Primärbewegung gereizten Auges gesehen wird, wirklich das geöffnete und nicht das geschlossene Auge die Bewegungswahrnehmung vermittelt. Da nämlich das Gesichtsfeld der beiden Augen dasselbe ist, so könnte sehr wohl der Bewegungseindruck von dem geschlossenen, vorher durch die Primärbewegung gereizten Auge in das übrigens hauptsächlich durch die optischen Eindrücke des offenen Auges bestimmte Gesichtsfeld hineingetragen werden, wenn ein geschlossenes Auge überhaupt ein Bewegungsnachbild wahrzunehmen imstande ist.

Aber in der Beantwortung unserer achten Frage müssen wir konstatieren, dass dies nicht der Fall ist.

Alle Beobachter, die nach monokularer oder binokularer Betrachtung der Primärbewegung unter lichtdichtem Verschluss beider Augen ein Bewegungsnachbild zu entdecken suchten, stellten fest, dass ein solches unter diesen Bedingungen nicht zu beobachten sei.

Damit wird die Annahme unvermeidlich, dass die Erregungsoszillation, in der wir die Bedingung für die Wahrnehmung des Bewegungsnachbildes zu finden glauben, in den tieferen Regionen der Sehsinnsubstanz, die von beiden Augen her Erregungseinflüsse erfahren, sich abspielt, und dass sie nur unter dem Einfluss fortgesetzter Lichteinwirkung längere Zeit andauert. Dazu bemerkt Vp. 1, die infolge von Astigmatimus eine Zeit lang, als derselbe noch nicht durch geeignete Augengläser genügend korrigiert war, häufig und auch seither noch gelegentlich an sogenanntem Augenflimmern zu leiden hatte, dass diese Erscheinung des subjektiv bedingten Flimmerns bei geschlossenen Augen ebenfalls zu verschwinden pflegt.

Besonders wichtig erschien uns die Beantwortung der zweiten Frage: Treten nach Betrachtung einer bewegten farbigen Spirale im Anschauen eines farblosen Objekts Farbenerscheinungen auf? Diese Frage wird von allen Beobachtern, die das Bewegungsnachbild sehen, bejaht. Aber die Angaben widersprechen sich wieder hinsichtlich der Qualität der Farbenerscheinungen an dem sekundär betrachteten farblosen Objekt. Die Mehrzahl der Beobachter bemerkte nach Betrachtung der Spiralscheiben mit weissem Grund auf dem farblosen Objekt die Bewegung eines Schattens von der gleichen Farbe wie die zuvor gesehene Spirale. Aber einige Beobachter sahen gelegentlich, Vp. 4 stets das Bewegungsbild in der Komplementärfarbe.

Nun haben wir freilich bei der Herstellung unserer Scheiben nicht genügend berücksichtigt, dass dieselben

stets Komplementärfarben aufweisen, diejenigen mit weissem Grund infolge des Kontrastes und diejenigen mit farbigem Grund entsprechend unserer Anordnung. Ob wirklich das Bewegungsnachbild in der Komplementärfarbe aller vorher gesehenen Farbentöne wahrgenommen werden kann, das lässt sich ganz exakt erst entscheiden, wenn man als Primärbewegung diejenige einer farbigen Spirale auf nicht farblosem und nicht komplementärfarbigem Grund betrachtet. Leider konnten wir dieser Erkenntnis, die sich bei Verarbeitung des Beobachtungsmaterials nach Abschluss der experimentellen Untersuchung ergab, nicht mehr Rechnung tragen. Aber es geht aus den Beobachtungen von Vp. 4 jedenfalls schon soviel mit Sicherheit hervor, dass im Bewegungsnachbild nach Betrachtung der Spiralscheiben mit weissem Grund für diesen Beobachter das Sättigungsverhältnis der Primärfarben auf dem sekundär betrachteten, objektiv farblosen Objekt sich umkehrt. Während z. B. auf der Rotweiss-Scheibe primär ein gesättigtes Rot neben einem (durch Kontrast hervortretenden) ungesättigten Grün gesehen wurde, überwog bei dieser Versuchsperson im Bewegungsnachbild der Eindruck des Grünen. Es wurde zwar stets nach Betrachtung der Rotweiss-Scheibe im Bewegungsnachbild auch Rot gesehen. Aber die erste Feststellung lautete bei Vp. 4 nicht, wie meist bei den andern Beobachtern in diesem Fall: Ich sehe die der Primärbewegung entgegengesetzt gerichtete Bewegung eines roten Schattens, sondern: Ich sehe das Bewegungsnachbild in Grün und daneben schwaches Rot.

Nach unserer Theorie lässt sich der Umschlag in die Komplementärfarbe im Bewegungsnachbild sehr schwer erklären, wenn eine Erklärung auch nicht geradezu ausgeschlossen erscheint, da man immerhin annehmen kann, dass bei Personen mit besonders labiler Sehsinnsubstanz in der Nachdauer der Erregungsoszillation diejenige

Phase, die in der primär hervorgerufenen Erregungsabwechslung überwiegt, infolge stärkeren Verbrauchs des dafür in Betracht kommenden Materials sehr zurücktritt. Wie freilich das Hervortreten der Komplementärfarbe im Bewegungsnachbild mit der Annahme zu vereinigen ist, dass die zur Erklärung des Bewegungsnachbildes von uns herangezogene Erregungsoscillation in tieferen Regionen der Sehsinnsubstanz stattfinde, das ist angesichts der herrschenden Auffassung vom stets peripheren Ursprung der negativen Nachbilder auf Grund unserer Theorie nicht einzusehen. An welcher von diesen verschiedenen Annahmen und Auffassungen indessen die Korrektur vorzunehmen ist, das müssen fernere Untersuchungen lehren.

Die dritte der auf Grund unserer Versuche zu beantwortenden Fragen lautet: Welche sekundär betrachteten Gegenstände, farbige oder farblose, stark oder schwach konturierte, hell oder weniger hell beleuchtete, sind am meisten geeignet, das Bewegungsnachbild hervorzurufen? Um diese Frage zur Entscheidung zu bringen, wurden die sekundär betrachteten Objekte in der mannigfachsten Weise variiert. Bald wurde dieselbe Scheibe, an der die Primärbewegung betrachtet worden war, nach Hemmung der Rotation zur Grundlage des Bewegungsbildes gewählt, bald fungierte als solche Grundlage eine andere Spiralscheibe, bald die weisse Rückseite einer solchen, bald die mit einem wenig hervortretenden Blumenmuster versehene graublaue Tapete und weitere Variationen wurden dadurch herbeigeführt, dass das sekundär betrachtete Objekt mittelst einer Glühlampenbatterie zuweilen besonders hell beleuchtet wurde. Die Ergebnisse dieser Versuche lassen sich dahin zusammenfassen, dass die stärksten Bewegungsnachbilder auftraten, wenn man diese Nachbilder auf grell beleuchteten, objektiv ruhenden Spiralscheiben sich entwickeln liess. Im übrigen ist die

Vergleichung zeitlich beträchtlich auseinander liegender Bewegungsnachbilder hinsichtlich ihrer Lebhaftigkeit ein Verfahren, das nicht gerade zu sehr sicheren Resultaten führt, und eine Reihe von Versuchen ist dadurch noch besonders entwertet worden, dass der Experimentator entgegen der ihm erteilten Instruktion die Primärbedingungen für die Entstehung des Bewegungsnachbildes, Farbe und Helligkeit der rotierenden Spiralscheibe, Dauer und Art der Betrachtung derselben, Ausgangszustand des Beobachters bei jedem Versuch nur teilweise konstant hielt, sodass die Effekte der Variation des sekundär betrachteten Objekts nicht rein hervortreten konnten.

Unsere vierte Frage bezieht sich auf die Prozesse, in denen die Wahrnehmung des Bewegungsnachbildes zustande kommt. Diese Prozesse werden von allen Beobachtern in erfreulicher Uebereinstimmung als Helligkeits- und Farbenverschiebungen innerhalb des Gesichtsfeldes beschrieben. Nach der Betrachtung einer rotierenden Spiralscheibe sehen die Versuchspersonen, bei denen das Bewegungsnachbild auftritt, auf beliebigen Objekten entsprechend der Grösse der durch die Primärbewegung gereizten Netzhautregion und der Entfernung des sekundär betrachteten Objekts kleinere oder grössere helle und dunkle oder verschiedenfarbige Ringe, deren Grenzen nicht stehen bleiben, sondern von denen sich die einen auf Kosten der andern verdicken, sodass zwei zunächst durch einen andersartigen Ring getrennte gleichartige Ringe zusammenzufliessen scheinen. Je nachdem dieses Zusammenfliessen durch Verdickung des aussen gelegenen Ringes nach einwärts oder durch Verdickung des innen gelegenen Ringes nach auswärts erfolgt, entsteht der Schein einer zentripetal oder einer zentrifugal gerichteten Bewegung. Ganz Entsprechendes wurde bei den Versuchen mit dem die Wasserfallbewegung darstellenden Apparat beobachtet, indem hier die sekundär betrachteten

Objekte ineinanderfliessende streifenförmige Schatten aufwiesen, die den Schein des auf den Beobachter Zulaufens oder von ihm Wegeilens der am Boden des Beobachtungsraumes liegenden Gegenstände, des Sinkens oder Steigens der Gegenstände an den Wänden hervorriefen, je nachdem die primäre Bewegung aufwärts oder (wie beim eigentlichen Wasserfall) abwärts gerichtet war.

In dem eben Gesagten ist schon die Antwort auf unsere fünfte Frage enthalten, dahingehend, dass Unterschiede in der Erscheinung des Bewegungsnachbildes (abgesehen von der Richtung der Bewegung) bei der Spiral- und bei der Wasserfallbewegung nicht zu beobachten waren.

Auf die weitere Frage nach Unterschieden der Geschwindigkeit in verschiedenen Bewegungsnachbildern und den Bedingungen für ihr Hervortreten ergibt sich die Antwort, dass nicht etwa die Geschwindigkeit der Primärbewegung, sondern die Zahl der bei derselben Bewegungsgeschwindigkeit in der Zeiteinheit an einem Ort sich ablösenden Eindrücke von entscheidender Bedeutung für die Geschwindigkeit der Bewegung im Bewegungsnachbild ist. An dem die Wasserfallbewegung darstellenden Apparat rief eine langsame Bewegung dichtgedrängter schmaler Striche im Bewegungsnachbild den Eindruck einer viel lebhafteren Bewegung hervor als eine schnelle Bewegung weiter auseinanderstehender dickerer Striche.

Um über die Bedeutung dieses Befundes uns weiter zu informieren, haben wir versucht, die Frage zu beantworten, inwieweit der Eindruck der Geschwindigkeit einer objektiven Bewegung durch die in der Zeiteinheit von einem Punkt des bewegten Objektes zurückgelegte Raumstrecke allein bestimmt und inwieweit bei der Sukzession reihenförmig angeordneter optischer Eindrücke infolge des Vorbeiziehens dieser Eindrücke am Auge

des Beobachters durch die Dichtigkeit des Zusammendrängens der Reihenglieder der Geschwindigkeitseindruck beeinflusst wird. Bei den zur Beantwortung dieser Frage angestellten Versuchen wurde ein von der Firma Zimmermann geliefertes Kymographion benützt, auf dessen vertikal stehender Trommel ein Papierstreifen mit vertikal stehenden schwarzen Strichen angebracht war, die in der oberen Hälfte der Trommel doppelt so dicht standen wie in der unteren. Die Beobachtung der beiden verschieden dichten Strichreihen, die durch verschieden schnelle Drehung des Kymographions in verschieden schnelle Bewegung versetzt werden konnten, erfolgte nach Beginn der Bewegung durch zwei Spalten in einem vor dem Apparat aufgestellten grauen Schirm. Jede von diesen Spalten war etwa 2 cm breit und 1 cm hoch und konnte durch eine Schiebevorrichtung verschlossen werden. Durch den einen von ihnen konnte man nur die Bewegung der oberen, durch den andern nur die der unteren Strichreihe beobachten. Bei jedem Versuch wurde die Geschwindigkeit der durch den einen Spalt (unter Verschluss des andern) zu beobachtenden Bewegung mit der Geschwindigkeit der hierauf durch den andern (unter Verschluss des ersten) beobachteten verglichen. Der Zeitabstand zwischen der Darbietung der „Normalbewegung“ und der „Vergleichsbewegung“ betrug 25 Sekunden. Eine solche Zwischenzeit war nötig, um die Veränderung der Kymographiongeschwindigkeit herbeizuführen. Die Geschwindigkeit der Normalbewegung (bei der die weniger dicht stehende Strichreihe beobachtet wurde), war stets dieselbe. Diejenige der Vergleichsbewegung wurde solange verändert (nach der Methode der Minimaländerungen), bis sie jener subjektiv gleich erschien. Um den Zeitfehler zu eliminieren, wurde bald die Normalbewegung, bald die Vergleichsbewegung als erste dargeboten. Durch eine besondere

Versuchsreihe überzeugten wir uns, dass die Unterschiedsschwelle bei der Vergleichung von Geschwindigkeiten durch ein Zeitintervall der Vergleichsglieder von 25 Sekunden nicht wesentlich erhöht wird. Die Präzision der Geschwindigkeitsvergleichung ergab sich als eine ausserordentlich hohe und war merkwürdigerweise manchmal, wenn die zu vergleichenden Geschwindigkeiten durch ein kurzes Zeitintervall getrennt dargeboten wurden, eine bessere als bei unmittelbarer Aufeinanderfolge von Normal- und Vergleichsbewegung. Die Protokolle mit den zahlenmässigen Ergebnissen sind im Besitz der Teilnehmer am psychologischen Praktikum des Berner psychologischen Instituts vom Sommersemester 1910, an dem ich aus Gesundheitsgründen nicht bis zum endgültigen Abschluss dieser Untersuchung teilnehmen konnte.

Es zeigte sich nun, dass die halb so dicht angeordnete Strichreihe, wenn sie ebenso schnell bewegt wurde wie die doppelt so dicht angeordnete, nicht den Eindruck derselben Geschwindigkeit hervorrief, dass sie aber bei doppelt so schneller Bewegung doch wesentlich schneller sich zu bewegen schien als die andere (bei halb so schneller), dass also beim Vorbeiziehen reihenförmig angeordneter Objekte vor dem Auge des Beobachters die Schnelligkeit des Vorbeiziehens neben der Geschwindigkeit der Sukzession der Eindrücke an einem und demselben Ort die Geschwindigkeitsauffassung wesentlich mitbeeinflusst. Dagegen scheint im Bewegungsnachbild nur die Oszillationsgeschwindigkeit den Eindruck der Bewegungsgeschwindigkeit zu bestimmen. Sollte dieses Ergebnis durch andere Beobachter bestätigt und durch geübtere Experimentatoren, die nicht an dem Nachteil unserer geübtesten Versuchsperson (dem Nichtauftreten von Bewegungsnachbildern für sie) leiden, ausser Zweifel gesetzt werden, so würden wir darin einen unserer wichtigsten Befunde sehen.

Abschliessend dürfen wir wohl sagen, dass der grösste Teil unserer experimentellen Resultate teils geeignet ist, unsere Theorie des Bewegungsnachbildes zu stützen, teils wenigstens nicht in unlösbare Widersprüche mit ihr gerät. Die Psychologie der Bewegungsauffassung und der Bewegungstäuschungen gehört heute noch zu den schwierigsten Kapiteln der Psychologie, deren endgültig befriedigende Bearbeitung noch manche Revision gegenwärtig herrschender Auffassungen erfordern wird.

3 0112 061882053